

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002034185  
PUBLICATION DATE : 31-01-02

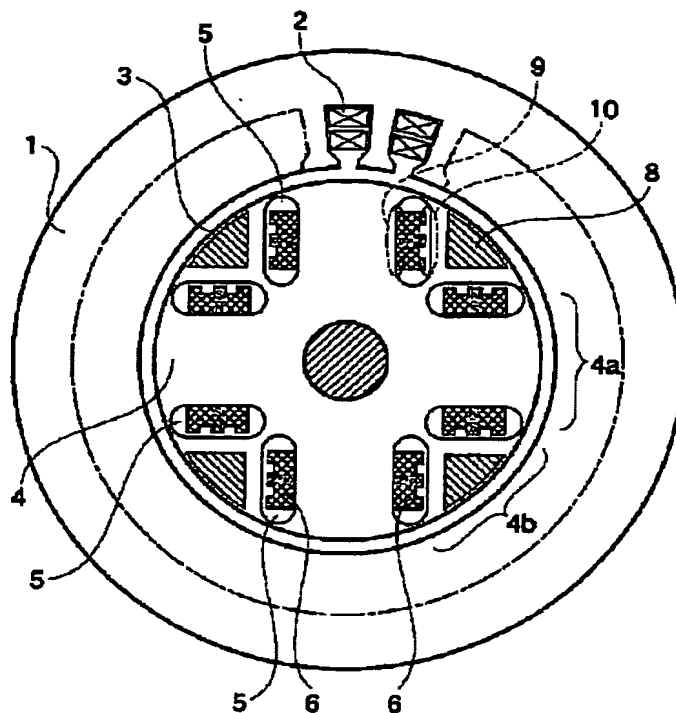
APPLICATION DATE : 17-07-00  
APPLICATION NUMBER : 2000216433

APPLICANT : TOSHIBA CORP;

INVENTOR : MATSUBARA MASAKATSU;

INT.CL. : H02K 1/27 H02K 1/22 H02K 19/10  
H02K 21/14

TITLE : PERMANENT MAGNET RELUCTANCE  
ROTATING ELECTRIC MACHINE



**ABSTRACT :** PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a permanent magnet reluctance rotating electric machine capable of reducing stress in a rotor core, eliminate the fear of a permanent magnet scattering or a rotor being damaged, and attaining high-speed rotation.

**SOLUTION:** The permanent magnet 6 is fixed to an inner-periphery surface 9 of a permanent magnet embedding hole 5 by means of magnetic attraction to relieve stress in the rotor core 4 at the time of rotation. The permanent magnet 6 is stably fixed at a position close to a rotating shaft with smaller wall thickness in the core 4 like this to minimize stress in the core 4 with rotation. It is thus possible to provide the permanent magnet reluctance rotating electric machine capable of attaining high reliability, easy manufacturing high-speed rotation, and high output.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-34185

(P2002-34185A)

(43) 公開日 平成14年1月31日 (2002.1.31)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H02K 1/27

識別記号

501

F I

H02K 1/27

テマコード (参考)

501A 5H002

501C 5H619

501K 5H621

501M 5H622

1/22

1/22

A

審査請求 未請求 請求項の数12 OL (全12頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2000-216433 (P2000-216433)

(22) 出願日

平成12年7月17日 (2000.7.17)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 高橋 則雄

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(72) 発明者 橋場 豊

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

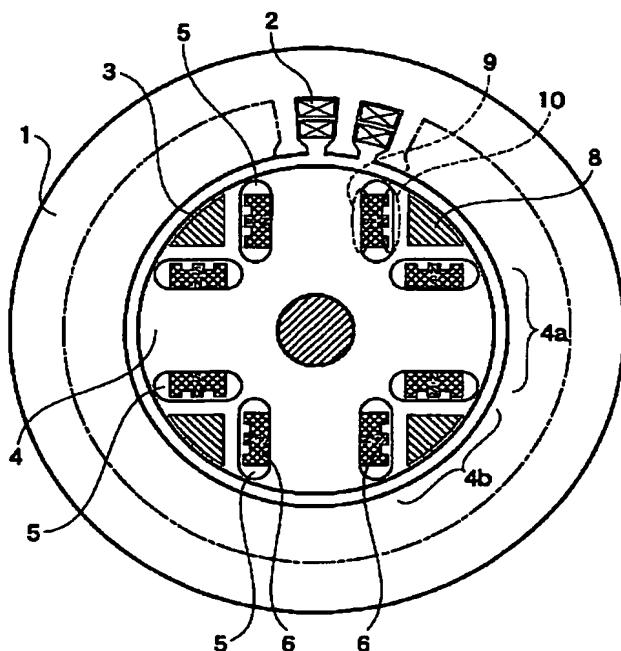
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石式リラクタンス型回転電機

(57) 【要約】

【課題】 回転子鉄心内の応力を低減し、永久磁石の飛散や回転子破損の恐れがなく、高速回転が可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機を提供する。

【解決手段】 永久磁石6を磁気吸引力により永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に固定して、回転時における回転子鉄心4内の応力を軽減する。このように、永久磁石6は、鉄心4内において、より肉厚で回転軸に近い位置に安定して固定されて、回転に伴う鉄心4内の応力が最小限に押さえられるので、信頼性が向上するとともに、製造が容易で、高速回転及び高出力が可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機を実現できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電機子コイルを有する固定子と、この固定子の内側であって、永久磁石を隣り合う磁極間を通る電機子の磁束を打ち消すように鉄心内の永久磁石埋め込み穴中に設け、かつ前記磁極間の永久磁石外周側に非磁性部を設けて、円周方向に磁氣的凹凸を形成した回転子とを有する永久磁石式リラクタンس型回転電機において、

前記永久磁石は、その着磁方向にほぼ直交し、かつ非磁性部とは反対側の前記永久磁石埋め込み穴の壁面に固定し、かつ前記非磁性部側の壁面との間に隙間を設けたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項2】 請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石は、その磁気吸引力により、前記永久磁石埋め込み穴の壁面に固定されたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項3】 請求項2記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石は、その着磁方向の両端部間において、前記永久磁石埋め込み穴の壁面との間の磁気吸引力に差を有し、いずれか一方の端面が、常に前記永久磁石埋め込み穴の壁面に固定されることを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項4】 請求項3記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石は、前記永久磁石埋め込み穴の壁面に対向する両端部のいずれか一方の面に段差を設け、前記両端部における磁気吸引力に差を設けたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項5】 請求項3記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石の着磁方向の両端部にそれぞれ対向する前記永久磁石埋め込み穴の壁面のいずれか一方の面に段差を設け、前記永久磁石の前記両端部の磁気吸引力に差を設けたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項6】 請求項3記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石の着磁方向の前記永久磁石埋め込み穴の壁面との間のいずれか一方に、前記永久磁石埋め込み穴の壁面に面する側に段差を有する磁性部材を介在させたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項7】 請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石の着磁方向の前記永久磁石埋め込み穴の壁面との間のいずれか一方に、ばね等の弾性部材を介装したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項8】 請求項1の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石埋め込み穴と前記非磁性部との間の前記鉄心に切り欠きないしは切り起こし加工により弾性部を形成し、その弾性部により前記永久磁石が押圧されるよう

に構成されたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項9】 請求項1から8のうちのいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子の鉄心の内径寸法が、鉄心の外形寸法の25%から55%の範囲となるように設定されたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項10】 請求項1から8のうちのいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子の回転に伴う前記鉄心の応力値が最小となるように鉄心の内径寸法が設定されたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項11】 電機子コイルを有する固定子と、この固定子の内側であって、永久磁石を隣り合う磁極間を通る電機子の磁束を打ち消すように鉄心内の永久磁石埋め込み穴中に設け、かつ前記磁極間の永久磁石外周側に非磁性部を設けて、円周方向に磁氣的凹凸を形成した回転子とを有する永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記永久磁石は、前記永久磁石の着磁方向と略直交する面の面積が着磁方向に沿い変化するように構成されたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項12】 請求項11記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石埋め込み穴の壁面を、前記永久磁石の前記着磁方向の一方の端部を係止するように変形させたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、永久磁石式リラクタンス型回転電機の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】図11は、4極構成からなる従来の永久磁石式リラクタンス型回転電機を示す径方向断面図である。

【0003】図11において、固定子1は電機子コイル2を有し、その内側には回転子3が設けられている。回転子3は、(回転子)鉄心4と永久磁石6とを備えていて、回転子鉄心4は電磁鋼板の積層構成からなり、回転軸を中心とした円周方向に磁化容易方向と磁化困難方向とが交互に形成されている。

【0004】回転子3は、外周面に磁氣的な凹凸を形成するために、鉄心4内に8個の永久磁石埋め込み穴5が磁化容易方向に沿い形成され、永久磁石6がその永久磁石埋め込み穴5内に嵌め込まれ接着剤により固定されている。

【0005】8個の永久磁石6は、回転中心から径方向に向け十字状に配置構成されて4つの凸極、すなわち磁極部4a(4極)を形成する。

【0006】また、図11において、凸極を形成した永

久磁石6の中間、すなわち2つの凸極間の鉄心4には、空洞部からなる非磁性部8が設けられ、磁極間4bが形成されている。すなわち、非磁性部8の両側に位置する各永久磁石6で挟まれる部分が磁氣的に凹部となり、永久磁石埋め込み穴5内の永久磁石6はその磁極間4bを通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化されている。磁極部4aの両側に位置する一対の永久磁石6は、いずれもその磁化方向は回転子3の円周方向に同一であり、磁極間4bの両側に位置する一対の永久磁石6は、反対に、磁化方向は円周方向に互いに逆となる。なお、永久磁石6は、好ましくは磁極(凸極)軸に対しほぼ垂直な方向に磁化されている。

【0007】次に、上記構成の従来の永久磁石式リラクタンス型回転電機的作用を説明する。

【0008】図12には、d軸(いわゆる磁束の通り易い部分)の電機子電流による鉄心4の磁極軸に沿った方向の成分の磁束 $\phi_d$ を示しており、磁束 $\phi_d$ は磁極部4aの鉄心4を磁路とするため、この方向の磁路では磁気抵抗が極めて小さく、磁束が通り易い。

【0009】図13には、q軸(いわゆる磁束の通り難い部分)の電機子電流による磁極間4bの中央部と回転子3の中心を結ぶ線に沿った方向の成分の磁束 $\phi_q$ を示しており、磁束 $\phi_q$ は永久磁石6の非磁性部8並びに磁極間4bを横断する磁路を形成する。そこで、空洞部からなる非磁性部8の比透磁率は“1”であり、永久磁石6の比透磁率もほぼ“1”であるので、高磁気抵抗により電機子電流による磁束 $\phi_q$ は低下する。

【0010】磁極部4aの両側に位置する各永久磁石6は、上述のように、磁極軸に対しほぼ垂直な方向に磁化されているので、図14に示すように各永久磁石6で発生した磁束は鉄心4の外周領域の磁性部7を円周方向に流れ、磁極部4aを通して、自己の反対の極に戻る経路の磁気回路 $\phi_{ma}$ を形成する。このとき、各永久磁石6の一部の磁束は空隙(いわゆる固定子1と回転子3との間のエアギャップ部)を経て固定子1を通り、互いに隣の永久磁石6及び回転子3の磁極部4aを通り、元の永久磁石6に戻る磁気回路 $\phi_{mb}$ をも形成する。

【0011】永久磁石6の鎖交磁束は、図13に示したようにq軸の電機子電流による磁極間4bの中心軸方向成分の磁束 $\phi_q$ とは逆方向に分布し、磁極間4bから侵入する電機子磁束 $\phi_q$ に反発して打ち消し合う。

【0012】従ってまた、磁極間4bの外側のエアギャップ部においては、永久磁石6の磁束により電機子電流が作るエアギャップの磁束密度を低下させ、磁極部4a上のエアギャップ磁束密度と比較して大きな変化(差)を呈する。その結果、回転子3の位置に対するエアギャップ磁束密度の変化、すなわち大きな磁気エネルギー変化が得られる。

【0013】さらに、負荷時においても、磁極部4aと

磁極間4bとの境界領域で磁氣的に短絡する磁性部7を有し、磁性部7は負荷電流によって大きく磁気飽和する。その結果、磁極間4bに分布する永久磁石6の磁束が増加し、非磁性部8及び永久磁石6における高磁気抵抗と永久磁石6の磁束とによって、エアギャップ磁束密度分布、すなわち磁気エネルギー変化の大きい凹凸が形成され、回転電機からは大出力が導出される。

【0014】なお、永久磁石式リラクタンス型回転電機では、永久磁石6は回転子3の円周方向に間隔を置いて配置されていることから、回転子3の外側円周方向のほぼ全周囲にわたり永久磁石6を配置したいいわゆる一般的な永久磁石型回転電機と比較し、永久磁石6自体の表面積は小さく、永久磁石6による鎖交磁束量も少ない。

【0015】また、永久磁石式リラクタンス型回転電機では、無励磁状態での永久磁石6のほとんどの磁束は、磁性部7を通る回転子鉄心4内の漏れ磁束となる。従って、この状態では誘導電圧を極めて小さくできるので、無励磁時の鉄損は少なくなる。また、電機子コイル2が短絡故障した際に流れる過電流も少ない。

【0016】また、永久磁石式リラクタンス型回転電機は、負荷時において、永久磁石6による鎖交磁束に、電機子電流(リラクタンス型回転電機の励磁電流成分とトルク電流成分)による鎖交磁束が加わって端子電圧を誘導する。

【0017】一方、一般的な永久磁石型回転電機では、永久磁石6の鎖交磁束が端子電圧のほとんどを占めているので端子電圧を調整することは困難であるが、永久磁石式リラクタンス型回転電機は、永久磁石6による鎖交磁束が少ないので、励磁電流成分を広く調整することにより、端子電圧を幅広く調整できる特徴がある。

【0018】すなわち、永久磁石式リラクタンス型回転電機は、回転速度に応じて電圧が電源電圧以下となるように励磁電流成分を調整することができ、基底速度から一定電圧で広範囲な可変速運転が可能となる。また、強制的制御で弱め界磁を行って電圧を抑制していないので、高速回転時に制御が動作しなくても過電圧が発生するようなことはない。

【0019】さらにまた、永久磁石式リラクタンス型回転電機は、永久磁石6を回転子鉄心4内に埋め込む構成となっているので、積層構造からなる電磁鋼板の鉄心4そのものが永久磁石6の保持機構となり、回転の遠心力による永久磁石6の飛散等は防止される。

【0020】また、上記従来の永久磁石式リラクタンス型回転電機では、図13に示した電機子電流が形成する回転子3へのq軸電流による磁束 $\phi_q$ は、図15に示したように、永久磁石埋め込み穴5の外周側薄肉部18、及び磁極間4bの回転中心軸寄りのブリッジ薄肉部19を流れるため、d軸電流による磁束 $\phi_d$ とq軸電流による磁束 $\phi_q$ との差が小さくなり、リラクタンストルクが減少する。

【0021】そこで、回転トルクに無効な $q$ 軸電流による磁束 $\phi_q$ が、非磁性部8の外周側から永久磁石埋め込み穴5の外周側薄肉部18に流れる無効磁束を少なくし、且つ永久磁石6より発生する磁束の漏れ（永久磁石無効磁束17）を小さくするために、鉄心4の永久磁石埋め込み穴5周辺、及び磁極間4bの外周側はできる限り径方向に狭くすることが考えられる。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の永久磁石式リラクタンس型回転電機では、永久磁石埋め込み穴5周辺、及び磁極間4bの外周側を径方向に狭くすると、強度的に回転による永久磁石6自体の遠心力を回転子鉄心4で支えることが難しくなり、特に高速回転機に適用しようとした場合は、永久磁石6の飛散、回転子3の破損が生じ回転電機としての成立が難しくなる。

【0023】また、従来の永久磁石式リラクタンス型回転電機では、無効磁束及び漏れ磁束の磁束量を補い、特性上必要な有効磁束を確保するために永久磁石6の量を増加させることも考えられるが、回転子3全体の体積に対する永久磁石埋め込み穴5の占める容積の割合が大きくなるというスペース上の問題と、遠心力による永久磁石6の応力がさらに増加することから構造上並びに強度上問題であり、単純に永久磁石6の量を増加させることは困難である。

【0024】また従来、永久磁石6は接着剤により永久磁石埋め込み穴5に固定されたが、接着剤の劣化等により接着力が低下し、永久磁石埋め込み穴5内で永久磁石6で脱落する恐れもある。永久磁石埋め込み穴5内で脱落した永久磁石6は、回転子3の回転に伴う遠心力により、永久磁石埋め込み穴5の外周側、すなわち回転軸より遠い方の側の壁を押圧するので、それが磁極間4b外周側を支えている永久磁石埋め込み穴5の外周側薄肉部18、及び磁極間4bの中央側ブリッジ薄肉部19に対する応力の増加につながる事となった。

【0025】従って、上記構成の回転子を高速回転及び高出力の回転電機へ適用しようすると、増加した遠心力により外周側薄肉部18や中央側ブリッジ薄肉部19が損傷を受け、永久磁石6の飛散や回転子3の破損等が懸念される。

【0026】また、従来の永久磁石式リラクタンス型回転電機における永久磁石6は、その形状が磁化方向に対し等方性を有し方向性を持たないので、永久磁石6の着磁方向を目視では識別することが出来ず、作業員は回転子3の組立作業時に方向を間違えて永久磁石6を挿入する可能性があり改善が要望されていた。

【0027】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、電機子コイルを有する固定子と、この固定子の内側において、永久磁石を隣り合う磁極間を通る電機子の磁束を

打ち消すように鉄心内の永久磁石の埋め込み穴中に設け、かつ前記磁極間の永久磁石外周側に非磁性部を設けて、周方向に磁氣的凹凸を形成した回転子とを有する永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石は、その着磁方向にほぼ直交し、かつ非磁性部とは反対側の前記永久磁石埋め込み穴の壁面に固定し、かつ前記非磁性部側の壁面との間に隙間を設けたことを特徴とする。

【0028】請求項2記載の発明は、請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石は、永久磁石の磁気吸引力により、埋め込み穴の壁面に固定されたことを特徴とする。

【0029】請求項3記載の発明は、請求項2記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石は、その着磁方向の両端部間において、永久磁石埋め込み穴の壁面との間の磁気吸引力に差を有し、常にいずれか一方の端面が、永久磁石埋め込み穴の壁面に固定されることを特徴とする。

【0030】このように請求項1から請求項3に記載の各発明によれば、永久磁石は非磁性部とは反対側の永久磁石埋め込み穴の壁面に固定され、回転子の回転に伴う永久磁石の遠心力が構造的に弱い非磁性部に加わることがないので、回転子の破損や永久磁石の外側への飛散を回避することができる。

【0031】請求項4または5に記載の発明は、請求項3記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石は、永久磁石埋め込み穴の壁面に対向する着磁方向の両端部のいずれか一方の面、または永久磁石の着磁方向の両端部にそれぞれ対向する永久磁石埋め込み穴の壁面のいずれか一方の面に段差を設け、永久磁石の両端部の磁気吸引力に差を設けたことを特徴とする。

【0032】このように、請求項4または5に記載の発明によれば、段差を形成して磁気吸引力に差を設けたので、請求項3記載の発明の作用と同様に、回転子の破損や永久磁石の外側への飛散を回避することができる。

【0033】請求項6記載の発明は、請求項3記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石の着磁方向の永久磁石埋め込み穴の壁面との間のいずれか一方に、永久磁石埋め込み穴の壁面に面する側に段差を設けた磁性部材を介在させたことを特徴とする。

【0034】このように、請求項6記載の発明によれば、磁性部材を介在させたので、請求項3記載の発明の作用に加えて、永久磁石の固定がより強固に行われる。

【0035】請求項7または8記載の発明は、請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石の着磁方向の永久磁石埋め込み穴の壁面との間のいずれか一方に、ばね等の弾性部材の介装、または永久磁石埋め込み穴と非磁性部との間の鉄心に切り欠きないしは切り起こし加工により弾性部を形成し、永久磁石を押圧するように構成したことを特徴とする。

【0036】このように、請求項7または8に記載の発明によれば、弾性部材または弾性部の構成により、請求項1記載の発明の作用に加えて、永久磁石はより強固に固定される。

【0037】請求項9または10に記載の発明は、請求項1から8のうちのいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子の鉄心の内径寸法を、鉄心の外形寸法の25%から55%の範囲、または回転子の回転に伴う鉄心の応力値が最小となるように鉄心の内径寸法を設定しことを特徴とする。

【0038】このように、請求項9または10に記載の発明は、回転子の鉄心の内径寸法を、鉄心の外形寸法の25%から55%の範囲、または回転子の回転に伴う鉄心の応力値が最小となるように鉄心の内径寸法を設定し、回転子自体の回転にともなう応力が最小となるようにしたので、請求項1から8の各発明における作用に加えて、より機械的に強固な回転子を提供することができる。

【0039】請求項11記載の発明は、電機子コイルを有する固定子と、この固定子の内側にあつて、永久磁石を、隣り合う磁極間を通る電機子の磁束を打ち消すように鉄心内の永久磁石埋め込み穴中に設け、かつ前記磁極間の永久磁石外周側に非磁性部を設けて、円周方向に磁氣的凹凸を形成した回転子とを有する永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石は、永久磁石の着磁方向と略直交する面の面積が着磁方向に沿い変化するように構成されたことを特徴とする。

【0040】請求項12記載の発明は、請求項11記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、永久磁石埋め込み穴の壁面を、永久磁石の着磁方向の一方の端部を係止するように変形させたことを特徴とする。

【0041】上記のように、請求項11及び12に記載の発明によれば、永久磁石の形状を着磁方向に変化させ方向性を持たせたので、回転子の組み立て製造に際し、作業員は永久磁石の組み込み方向を間違えることがなく、効率良く作業を行うことができる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機の一実施の形態を、図1ないし図10を参照して詳細に説明する。なお、図11ないし図15に示した従来の構成と同一構成には同一符号を付し詳細な説明は省略する。

【0043】(第1の実施の形態：請求項1、2、3、4に対応)

(構成)図1は、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機の第1の実施の形態を示す径方向断面図である。また、図2は図1に示す回転子の径方向拡大断面図である。

【0044】図1において、固定子1は電機子コイル2を有し、内側には、電磁鋼板の積層構成からなる回転子

3が収容されている。回転子3は、回転子鉄心4と永久磁石6とを備えていて、回転子鉄心4は磁化容易方向(d軸方向)と磁化困難方向(q軸方向)を形成している。

【0045】回転子鉄心4は、円周方向に磁氣的な凹凸を形成するため8個の永久磁石埋め込み穴5が磁化容易方向に沿い形成され、永久磁石埋め込み穴5内に永久磁石6が装着されている。

【0046】空洞(空隙)からなる非磁性部8は、磁極的に凹部(磁極間4b)を形成し、その両側に位置する永久磁石6、6は、磁極間4bを通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化されている。

【0047】一方、磁極部4aの両側に位置する一対(2個)の永久磁石6、6は、磁化方向が同一であり、磁極間4bの両側に位置する2個の永久磁石6、6は、回転子3の円周方向に沿い互いに磁化方向は逆となる。なお、永久磁石6は、磁極(凸極)軸にほぼ垂直な方向に磁化されているのが望ましい。

【0048】図2に示すように、永久磁石6は、永久磁石埋め込み穴5内にあつて、非磁性部8とは反対側の回転軸により近い内周側壁面9に、着磁方向とはほぼ直交する面で自己の磁気吸引力により密着固定されている。

【0049】そして永久磁石6の固定された内周側壁面9とは反対側(すなわち非磁性部8側)の内周側壁面、すなわち回転軸からはより遠い外周側壁面10と永久磁石6との間には隙間(空間)が設けられている。なお、図1以下の説明図では、永久磁石6の着磁方向の両端面に対応する、永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9及び外周側壁面10の該当部分位置を破線で囲んで示すものとする。

【0050】そこで、図2に示すように、永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10に対向する側の永久磁石6面には段部(凹凸)が形成されていて、段部の凸部により、外周側壁面10近くに対向する部分の表面積が小さくなるように構成されている。尚、本実施の形態では、永久磁石6は半径方向に沿って凹凸(段部)が連なるように段差を設けたが、半径方向に沿ってではなく、回転子3の軸方向に沿って凹凸(段部)が連なるように段差を設けることもできる。

【0051】(作用)このように第1の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、従来と相違し、永久磁石6は、永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に固定されていて、より回転軸側に近いので、永久磁石6の回転子3の回転に伴う永久磁石6自体の平均的な遠心力はより小さいものとなり、回転子鉄心4への応力を軽減させることができる。

【0052】従って、回転子3の外周側を支える永久磁石埋め込み穴5の外周側薄肉部18、及び磁極間中央側ブリッジ薄肉部19は、いずれも厚みが薄く強度的に厳しい状況にあるが、永久磁石6自体は、永久磁石埋め込

み穴5内の肉厚な内周側壁面9に固定されていて、回転子3の回転に伴う外周側薄肉部18やブリッジ薄肉部19にかかる応力は軽減される。

【0053】また、永久磁石6は、自己の磁気吸引力により、永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に固定され、従来のように、経年変化による接着剤の枯れや劣化等による剥がれがないので、永久磁石6は永久磁石埋め込み穴5内にあって安定する。

【0054】さらにまた、この実施の形態では、永久磁石6は、永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10に空隙を形成して対向する面に凹凸を設けているため、外周側壁面10により近い部分の表面積（すなわち凸部の先端面積）は小さいので、その永久磁石6の凸部を通る磁束は減少する。その結果、永久磁石埋め込み穴5の周側壁面に対する永久磁石6の磁気吸引力は、外周側壁面10との間の磁気吸引力よりも内周側壁面9との間の磁気吸引力がより強くなり、永久磁石6は着磁方向に内周側壁面9に強固に固定される。

【0055】（効果）上記のように、図1及び2に示す第1の実施の形態の永久磁石式リラクタンس型回転電機によれば、永久磁石6が永久磁石埋め込み穴5の中で、（平均）遠心力がより小さく、しかも肉厚の内周側壁面9に固定されるので、回転子鉄心4に及ぼす応力を低減することができ、回転子3の損傷を回避し信頼性を向上させ得るとともに、より高速な回転及び出力の増大を実現できる。

【0056】また、永久磁石6は、永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10に空隙を介して対向する側の表面に凹凸（段差）を形成したので、永久磁石6と永久磁石埋め込み穴5の着磁方向各面に働く磁気吸引力により一層強弱がつき、その吸引力の差により、永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9への固定をより強固なものとすることができる。

【0057】さらに、この実施の形態では、永久磁石6は自己の磁気吸引力により永久磁石埋め込み穴5内に固定され、従来のように接着剤を使用することがないので、接着剤の枯れや劣化による脱落はなく安定するとともに、永久磁石6の鉄心4内への実装が容易となり製造の効率化を図ることができる。

【0058】（第2の実施の形態：請求項5に対応）（構成）図3は、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機の第2の実施の形態を示す回転子の径方向拡大断面図である。

【0059】図3に示すように、本実施の形態では、永久磁石6の着磁方向の両端部においてそれぞれ対向する永久磁石埋め込み穴5の壁面のうち、非磁性部8側の外周側壁面10自体に段差（凹凸）が構成され、これにより永久磁石6の両端部における磁気吸引力に差を有するように形成したものである。

【0060】従って、この構成によっても、永久磁石6

と永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10との間に、空隙を有するのに加えて、永久磁石6の凸部により、外周側壁面10に近接する部分の表面積（すなわち凸部の先端面積）が小さいので、第1の実施の形態と同様に、永久磁石6の着磁方向に働く磁気吸引力に強弱がつき、その吸引力の差により、永久磁石6は永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9側に強固に固定される。

【0061】尚、本実施の形態において、回転子鉄心4は半径方向に沿って段差（凹凸）を設けているが、第1の実施の形態と同様に、回転子鉄心4の軸方向に沿って段差（凹凸）を設けても良い。

【0062】（作用）このように第2の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10に段差を形成したので、永久磁石6と外周側壁面10とを通る磁束は減少し、反対側の内周側壁面9との間の磁気吸引力より小さくなり、永久磁石6は遠心力のより小さな方向の内周側壁面9に強固に固定される。

【0063】（効果）上記のように、図3に示す第2の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機によれば、永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10、すなわち回転子鉄心4側に段差（凹凸）を形成したことにより、永久磁石6を永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に強固に固定することができる。

【0064】従って、この実施の形態においても、永久磁石6は永久磁石埋め込み穴5の回転軸側により近く、しかも肉厚側の内周側壁面9に固定され、回転子鉄心4に対する応力を低減することができるので、回転子3を損傷を回避して信頼性を向上させることができるとともに、より回転速度が早く、出力の大きい永久磁石式リラクタンス型回転電機を実現できる。

【0065】また、永久磁石6は自己の磁気吸引力により永久磁石埋め込み穴5内に固定されるので固定は安定し、永久磁石6は簡単な形状及び構造を有するので、回転子3の製造が容易となる。

【0066】（第3の実施の形態：請求項6に対応）（構成）図4は、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機の第3の実施の形態を示す回転子の径方向拡大断面図である。

【0067】すなわち、本実施の形態では、永久磁石6は、永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9との間に、磁性部材11を介して固定され、磁性部材11は内周側壁面9に接する側の面に、図示のように断面コ字状の段差（凹凸）を設けたものである。

【0068】そして、第1及び第2の実施の形態と同様に、永久磁石6と永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10との間には隙間を形成したので、永久磁石6は、磁性部材11を介した磁気吸引力により、永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に強固に固定される。尚、本実施の形態では、磁性部材11は、半径方向に沿い段差（凹

凸)を設けるように図示してあるが、磁性部材11の段差(凹凸)は、回転子3の回転軸方向に沿って設けても良い。

【0069】(作用)上記構成による第3の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機によれば、永久磁石6は着磁方向に磁性部材11を介して内周側壁面9に固定されていて、しかも磁性部材11の内周側壁面9側は段差を有するので、永久磁石6から発生するほとんどの磁束は磁性部材11を通して回転子鉄心4内に到達する。従って、端部断面積の小さい磁性部材11の凸部と永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9との間の磁束密度は大となり磁気吸引力も増加し、永久磁石6は磁性部材11を介して永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に強固に固定される。

【0070】(効果)上記のように、第3の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機によれば、永久磁石6は磁性部材11を介して回転子鉄心4に強固に固定されて安定するので、第1及び第2の実施の形態と同様に、高信頼性を有し、高速回転、高出力の回転電機を提供することができる。

【0071】(第4の実施の形態：請求項7に対応)  
(構成)図5は、本発明による永久磁石式リラクタンス型回転電機の第4の実施の形態を示す回転子の径方向拡大断面図である。

【0072】図5に示したように、本実施の形態の回転子3は、永久磁石6と永久磁石埋め込み穴5の外周側壁面10との間に、ばね等の弾性部材12をその弾性力の付勢方向が永久磁石6の着磁方向と一致するように挿入し、弾性部材12が永久磁石6を押圧し、永久磁石6が常に永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に強固に押圧固定されるように構成されている。

【0073】尚、本実施の形態では、回転子3の径方向に沿い2個の弾性部材12を配列挿入したが弾性部材12の個数は1個でも、あるいは3個以上の複数個でも良い。また、複数個の弾性部材12の配列方向も回転子3の径方向に限らず、回転軸方向に沿い配列挿入することができる。

【0074】(作用)上記のように、この実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機では、永久磁石6は、自己磁気吸引力に加えて、ばね等の弾性部材12により、永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に押し付けられるので、永久磁石6は永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に確実かつ強固に固定される。

【0075】(効果)上記第4の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、永久磁石6が、弾性部材12により、永久磁石6は永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に押し付け固定されるので、永久磁石6は安定し、信頼性が向上するとともに、回転子3のより高速回転が可能となる。

【0076】(第5の実施の形態：請求項8、9、10

に対応)

(構成)図6は、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機の第5の実施の形態を示す回転子の径方向拡大断面図である。

【0077】すなわち、本実施の形態では、図6に示したように、永久磁石埋め込み穴5と非磁性部8との間の回転子鉄心4に、切り欠きないしは切り起こし加工による弾性部13を設け、その弾性部13が永久磁石6を永久磁石埋め込み穴5内の内周側壁面9に向け常に押圧するように構成されている。

【0078】また、本実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、(回転子)鉄心4の内径寸法dが外形寸法doutの25%～55%の範囲にあるように構成されている。

【0079】すなわち、図7は図6に示す回転子3の回転時における鉄心4の内径寸法d(横軸)に対する鉄心4内の最大応力値 $\sigma$ (縦軸)の関係を示した特性図である。

【0080】回転電機は、図7に示すように、(回転子)鉄心4の内径寸法dが、 $d1 \rightarrow d\alpha \rightarrow d2$ へと順次大きくなるに従い、鉄心4内の最大応力値 $\alpha$ は一旦小さな値を示した後、途中( $d\alpha$ )における最小値を境に順次大きくなる特性を呈する。そこで、この実施の形態の発明は、鉄心4内の最大応力値 $\alpha$ が最小となる内径寸法 $d\alpha$ は、回転子鉄心外径doutに対し、25%～55%の範囲内に存在することに着目してなされたものである。

【0081】従って、回転子鉄心4の内径寸法dが外径doutに対し25%～55%の範囲内、さらに好ましくは最大応力値 $\alpha$ が最小となる略 $d\alpha$ となるように内径寸法dを設定することにより、回転遠心力による鉄心4内の応力は軽減され、剛性の高い回転子3を得ることができる。

【0082】なお、永久磁石6及び永久磁石埋め込み穴5の各形状や配置の傾き等が異なるものとなると、回転子鉄心4内の応力値が最小となる最適な内径寸法 $d\alpha$ も若干変化する。しかしながら、最適な内径寸法 $d\alpha$ は鉄心外径doutに対し、やはり25%～55%の範囲内に存在する。

【0083】従って、この実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、永久磁石埋め込み穴5内の永久磁石6は、自己の磁気吸引力に加えて、弾性部13による付勢を受けて内周側壁面9に押圧され固定され、さらに回転子鉄心4の内径寸法dを外径doutに対し、25%～55%の範囲内に、なお好ましくは回転子鉄心4内の応力値が最小となる最適な内径寸法 $d\alpha$ に設定して構成されたものである。

【0084】尚、本実施の形態では、(回転子)鉄心4の径方向に沿った切り欠きないしは切り起こしにより弾性部13を形成したが、もちろん回転軸方向に沿い設け



ることもできる。

【0085】(作用) 上記のように構成された永久磁石式リラクタンس型回転電機によれば、永久磁石埋め込み穴5と非磁性部8との間の回転子鉄心4に弾性部13が設けられ、永久磁石6は弾性部13により付勢されつつ、永久磁石6の永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9へ固定され安定する。

【0086】また、回転子鉄心4の内径寸法dが外形寸法doutに対し、25%～55%の範囲内にあるように構成されたので、回転に伴う回転子鉄心4内の応力を最小限に抑えることができる。

【0087】(効果) 上記のように、第5の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、回転子鉄心4の弾性部13により、永久磁石6は永久磁石埋め込み穴5の内周側壁面9に押し付けられるので、永久磁石6は自己の磁気吸引力と相俟って強固に固定され、高速回転が可能となり、信頼性も向上する。

【0088】また、弾性部13は、鉄心4への単なる切り欠きないしは切り起こし加工により形成され、ばね等の弾性部材を挿入することがないので、部品点数を増すことなく製造できる。

【0089】また、この実施の形態によれば、回転子鉄心4の内径寸法dが外形寸法doutの25%～55%の範囲となるように形成したので、回転子鉄心4内の遠心力に対する応力値を最小限に抑えることが可能となり、信頼性の向上と同時に、より高速回転及び高出力を実現できる。

【0090】(第6の実施の形態：請求項11、12に対応)

(構成) 図8は、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機の第6の実施の形態を示す径方向断面図、図9は図8に示す回転子の径方向拡大断面図、図10は図8に示す永久磁石の斜視図である。

【0091】本実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、回転子鉄心4の永久磁石埋め込み穴5に挿入される永久磁石14の形状を、図10に拡大して示したように、着磁方向15に向け台形状に、すなわち符号16で示す着磁方向15に直交する面(図示では横断面)の面積が着磁方向に向け変化し、順次小さくなるように構成されている。

【0092】また、永久磁石14が挿入された永久磁石埋め込み穴5の形状を、図8及び図9に示したように、回転子鉄心4の内周側壁面9から内側に向けて一対の突起部が形成され、その一対の突起部間に永久磁石14の台形状の底部を抱え込み固定するように加工構成されている。

【0093】従って、この実施の形態では、永久磁石埋め込み穴5内で永久磁石14は、内周側壁面9の突起部間への嵌め込み操作によって装着できる。

【0094】(作用) 上記のように、この実施の形態の

永久磁石式リラクタンス型回転電機は、永久磁石14の形状を、着磁方向15に面積(横面積)が変化するように方向性を持たせたので、作業員は永久磁石6の着磁方向15を目視で識別できる。

【0095】(効果) 従って、第6の実施の形態によれば、上記第1から第5の各実施の形態と同様に、永久磁石6は自己の磁気吸引力により強固に固定されるとともに、形状を着磁方向15に沿い変化させたので、作業員が永久磁石6の方向を間違えて回転子鉄心4内に装着するような不具合は回避され、製造効率を高めることができる。

【0096】なお、上記説明の各実施の形態では、回転電機が4極であるとして説明したが、極数には4極に限定されないことは言うまでもない。

【0097】以上説明のように、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機によれば、永久磁石を、自己の磁気吸引力により、永久磁石埋め込み穴の内周側壁面に固定するので、回転に伴う回転子鉄心内の応力は低減され、高速回転、高出力を実現し得るものであり、実用に際し顕著な効果を得ることができる。

【0098】

【発明の効果】請求項1から3に記載の発明によれば、永久磁石は非磁性部とは反対側の永久磁石埋め込み穴の壁面に固定され、回転子の回転に伴う永久磁石の遠心力が、回転子内の応力を軽減し、回転子の損傷を回避することができる。

【0099】請求項4または5に記載の発明によれば、永久磁石の磁気吸引力に、その着磁方向の両端部間に差を設けたので、請求項1から3の発明と同様に、回転子の損傷を回避することができる。

【0100】請求項6に記載の発明によれば、磁性部材の存在により、請求項3に記載の発明の効果に加えて、永久磁石のより強固な固定が可能となる。

【0101】請求項7または8に記載の発明においても、弾性部材または弾性部の存在により、請求項1記載の発明の効果に加えて、永久磁石のより強固な固定が可能となる。

【0102】請求項9または10に記載の発明によれば、回転子自体の回転に伴う鉄心内の応力を軽減することができ、より高速回転の回転電機を実現することができる。

【0103】請求項11または12に記載の発明によれば、永久磁石の形状に着磁方向への方向性を持たせたので、鉄心内への装着を容易かつ確実に行うことができ、製造効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係わる永久磁石式リラクタンス型回転電機の径方向断面図である。

【図2】図1に示す回転子の径方向拡大断面図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態に係わる永久磁石式

リラクタンス型回転電機の回転子径方向拡大断面図である。

【図４】本発明の第３の実施の形態に係わる永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子径方向拡大断面図である。

【図５】本発明の第４の実施の形態に係わる永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子径方向拡大断面図である。

【図6】本発明の第5の実施の形態に係わる永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子径方向拡大断面図である。

【図7】図6に示す永久磁石式リラクタンス型回転電機  
の回転子鉄心内径寸法と回転子鉄心内の最大応力値との  
関係を示す特性図である。

【図8】本発明の第6の実施の形態に係わる永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図9】図8に示す回転子の径方向拡大断面図である。

【図10】図9に示す永久磁石の斜視図である。

【図11】従来の永久磁石式リラクタンス型回転電機の径方向断面図である。

【図 12】図 11 に示す永久磁石式リラクタンス型回転電機の d 軸の電機子電流による回転子鉄心の磁極軸に沿った方向の成分の磁束  $\phi_d$  の流れを示した径方向断面図である。

【図13】図11に示す永久磁石式リラクタンス型回転電機のq軸の電機子電流による磁極間4bを中心とした

径方向の軸に沿った方向の成分の磁束  $\phi_q$  の流れを示した径方向断面図である。

【図14】図11に示す永久磁石式リラクタンス型回転電機の永久磁石が発生する磁束の流れを示した径方向断面図である。

【図15】図11に示す永久磁石式リラクタンス型回転電機の永久磁石が発生する磁束の流れを示した回転子の径方向拡大断面図である。

【符号の説明】

1 . . . 固定子

## 2. . . 電機子コイル

### 3 . . . 回轉子

4 · · · (回轉子) 鉄心

5 . . . 永久磁石埋め込み穴

6 . . . 永久磁石

## 7. 14 . . . 磁性部

8 . . . 非磁性部

9・・・永久磁石埋め込み穴の内周側壁面

10・・・永久磁石埋め込み穴の外周側壁面

## 11 . . . 磁性部材

1 2 . . . 弾性部材

13 . . . 弾性部

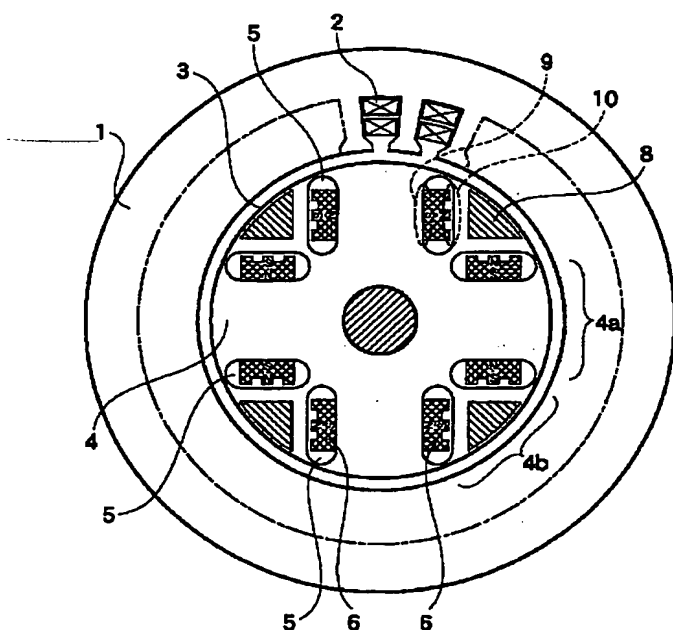
18 . . . 外周側薄肉部

19・・・ブリッシ薄肉部

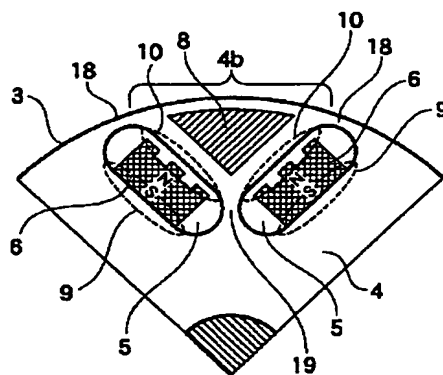
4 a . . . 磁極部

4 b . . . 磁極間

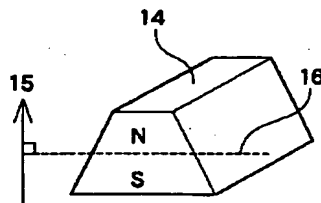
【図1】



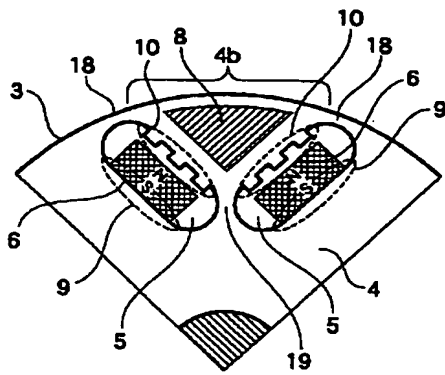
【図2】



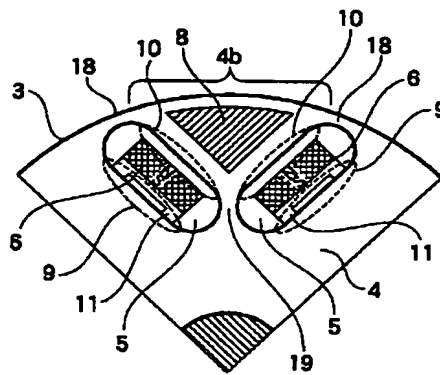
【図10】



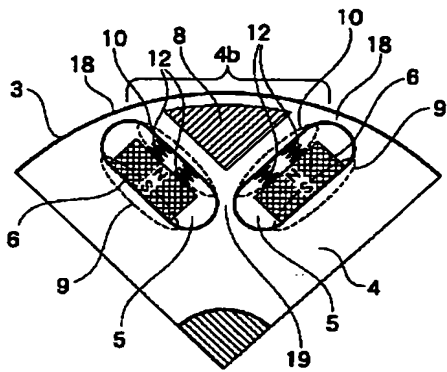
【図3】



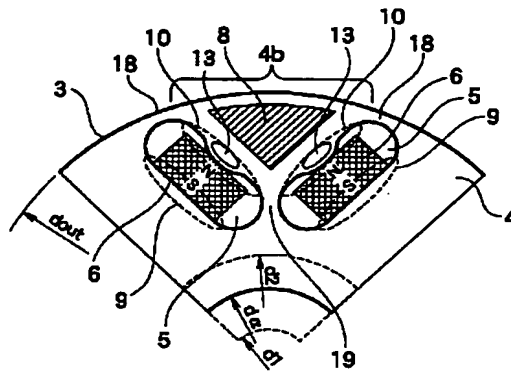
【図4】



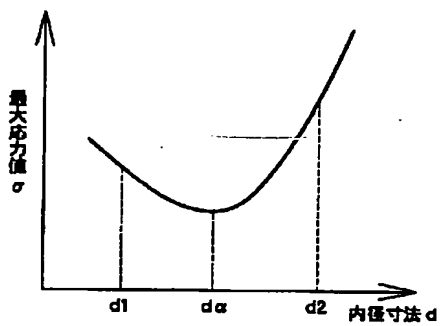
【図5】



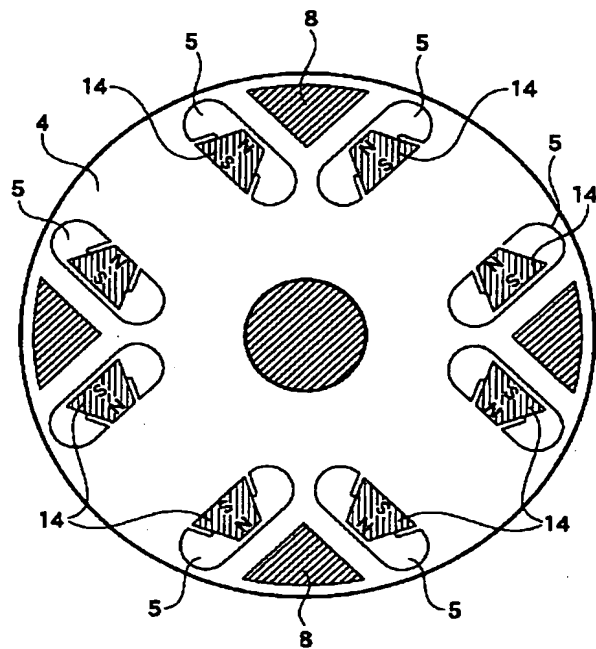
【図6】



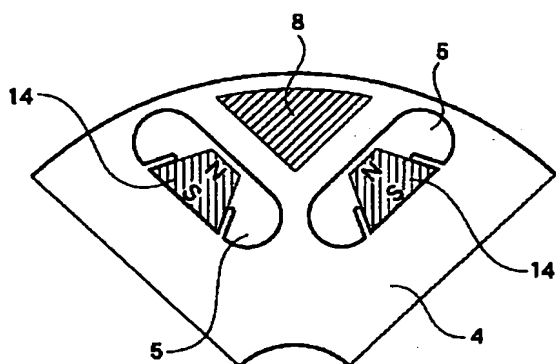
【図7】



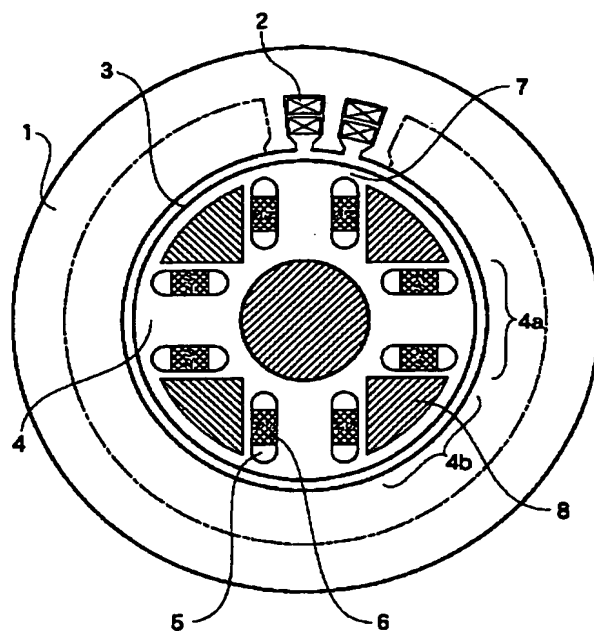
【図8】



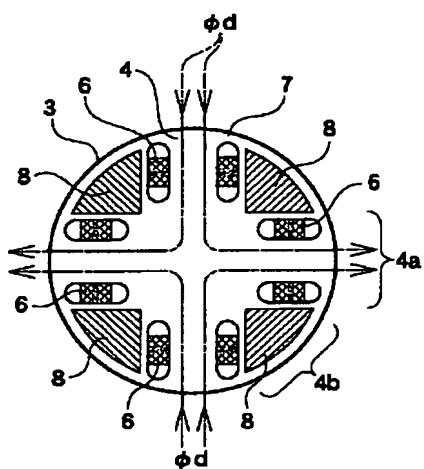
【図9】



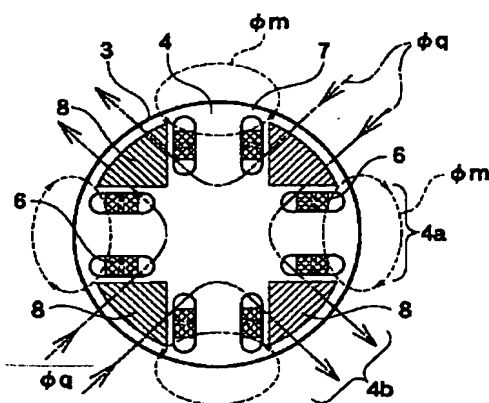
【図11】



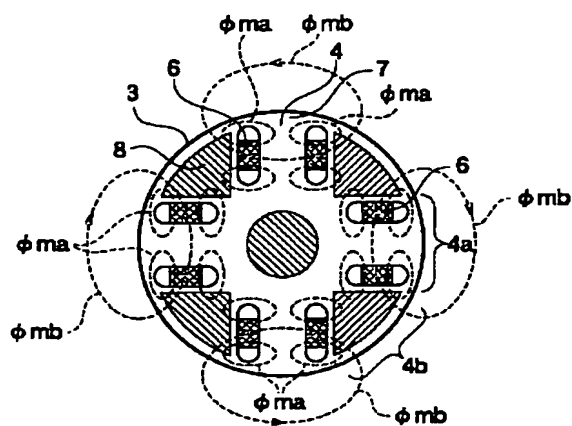
【図12】



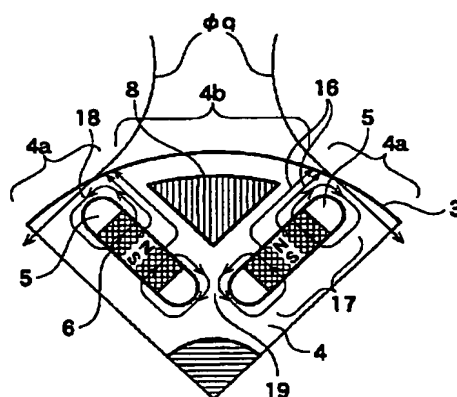
【図13】



【図14】



【図15】



## フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup> 識別記号H02K 19/10  
21/14

F I

H02K 19/10  
21/14

ノート(参考)

A  
M(72)発明者 堀 和人  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内(72)発明者 新 政憲  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内(72)発明者 風尾 幸彦  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内(72)発明者 徳増 正  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内(72)発明者 望月 資康  
三重県三重郡朝日町大字縄生2121番地 株  
式会社東芝三重工場内(72)発明者 荒木 貴志  
三重県三重郡朝日町大字縄生2121番地 株  
式会社東芝三重工場内(72)発明者 松原 正克  
三重県三重郡朝日町大字縄生2121番地 株  
式会社東芝三重工場内

Fターム(参考) 5H002 AA05 AB07 AC06 AE08

5H619 AA01 BB01 BB15 BB22 BB24

PP02 PP06 PP08

5H621 GA01 GA04 GA15 HH01 HH09

JK02 JK05

5H622 AA03 CA02 CA07 CA13 CB01

CB04 CB05 CB06 PP04 PP07

PP10 PP11 PP15 QB05